

令和 6 年 6 月 28 日現在

機関番号：12101

研究種目：若手研究

研究期間：2022～2023

課題番号：22K13471

研究課題名（和文）作業者の技能と検品精度を同時に向上させる機械学習システム構築に関する研究

研究課題名（英文）Research on the development of a machine learning systems that simultaneously improve operator skills and inspection accuracy.

研究代表者

原口 春海（HARAGUCHI, HARUMI）

茨城大学・理工学研究科（工学野）・講師

研究者番号：70796325

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は人による目視検品と検品機械による自動検品の検品精度を同時に向上させるシステムの構築が目的である。検品対象は歯科医療に使用するドリル状器具とし次の3つのツールの開発と導入効果の測定を行う。完成したシステムは(1)ラベル付けツール(2)検品訓練ツール(3)自動判別ツールの3つのツールで構成される。検品対象製品は(1)ラベル付けツールで良品と不良品の分類が行われ、その基準を元に検品担当者は(2)検品訓練ツールで検品の訓練を行い、自動検品機械に組み込まれる(3)自動判別ツールの分類モデルを作成する。(2)検品訓練ツールで得られた結果を(3)に反映させることによって判別精度の向上が確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は主に2つに要約される。ひとつ目が実現場に即した作業者による目視検品と機械による自動検品の双方を統合した検品システムのモデルを考案したこと。ふたつ目が目視検品の訓練に使用する検品訓練ツールで得られた目視判断の傾向を自動検品用の判別モデル作成に適用することによって、従来判別モデルを作成しづらいと言われてきた特徴量を抽出しづらいうえ不良品の絶対数が少ない工業製品に対して精度の高い判別モデルの作成を実現したことである。

研究成果の概要（英文）：The objective of this research is to develop a system that simultaneously improves the inspection accuracy of visual inspection by humans and automatic inspection by machines. The system is designed to improve the inspection accuracy of drill-like instruments used in dentistry. The completed system consists of three tools: (1) a labeling tool, (2) an inspection training tool, and (3) an automatic identification tool. The system operates in the following steps: (1) The products to be inspected are classified as quality or defective by the labeling tool. Based on the criteria, the operators are trained to inspect the products using (2) the inspection training tool. The classification model for the (3) automatic identification tool, incorporated in the automatic inspection machine, is also created. An improvement in identification accuracy was confirmed by reflecting the results obtained with the (2) inspection training tool in the (3) automatic identification tool.

研究分野：経営工学

キーワード：検品支援 作業者訓練 機械学習 製造業 品質管理

1. 研究開始当初の背景

製造業の品質管理部門は製品の安全性を保証するために重要な役割を担っているものの、直接利益を生み出す部門では無いため設備投資が後回しになる傾向がある。特に日本の製造業の9割を占める中小企業にとっては検品のシステムを構築したり自動化するにはコスト面や人員計画の課題が多い。一方で、実際の作業現場では、作業者の経験と勘に頼った改善活動が常に行われており、そこには何らかのキーファクターが存在しているはずである。このキーファクターを指標化することにより、同業種への横展開は勿論、異なる業種への応用の実現は、多くの作業が自動化・標準化されている現状においてこそ「人間中心」の作業現場実現に有効な研究が求められる。申請者はこれまで、歯科治療用器具製造業を対象に検品支援ツールの開発・導入を行うと共に、導入による検品作業者の作業効率の変化を研究してきた。申請者が開発した検品支援ツールでは、畳み込みニューラルネットワークを使用することで作業者による判断のばらつきを判別モデルへ反映させることを実現した。一方、検品対象によって判別モデルの精度にばらつきが出るという課題も残った。この原因としては以下の3点が挙げられる。1)良品/不良品の区別がつきにくく、作業者による判断のばらつきが大きい。2)不良品の数自体が少ない。3)左記1)・2)により機械学習による特徴量の抽出が困難。そこで本研究では、作業者の技能向上(判断基準の平準化)と検品支援ツールの判別精度向上を同時に満たす検品訓練システムを開発し、その導入効果を定量的に評価する。

2. 研究の目的

本研究の最終的なゴールは、作業者の技能向上(判断基準の平準化)と精度の高い検品ツール開発を同時に達成することによる、人手作業と自動作業の継続的な連携の実現である。製造業においてもAI(主に機械学習)を使用した様々な業務支援システムが導入されており多くの成果を見せている。特に品質管理部門ではAIを使用した検品システム事例も多く紹介されているが、検品対象の多くは良品の条件が明確で機械学習による特徴量の抽出が容易なものとなっている。その為AIによる検品システムの導入メリットは大量の製品の中から明らかな不良品を瞬時に判別するところにある。一方で、良品/不良品の差が小さい、不良品の絶対数が少なく知見を蓄積しづらい等、人手による検品でも判断に迷うような製品に対しては、機械学習による特徴量の抽出が困難であり判別モデル作成の障害となっている。しかし、人手による判断が困難なものこそAIの支援によって作業者による判断のばらつきを平準化して、平準化された判断による学習データを使用することにより精度の高い判別モデルの作成が期待できる。

そこで本研究では、検品作業向けの「検品訓練ツール」と訓練結果を反映させた「自動検品ツール」の開発を行うことによって、検品作業者の技能向上と検品ツールの精度向上を同時に実現するシステムの開発を行い、実データを用いた検証と新製品導入時に考慮すべき指標の作成を試みる。

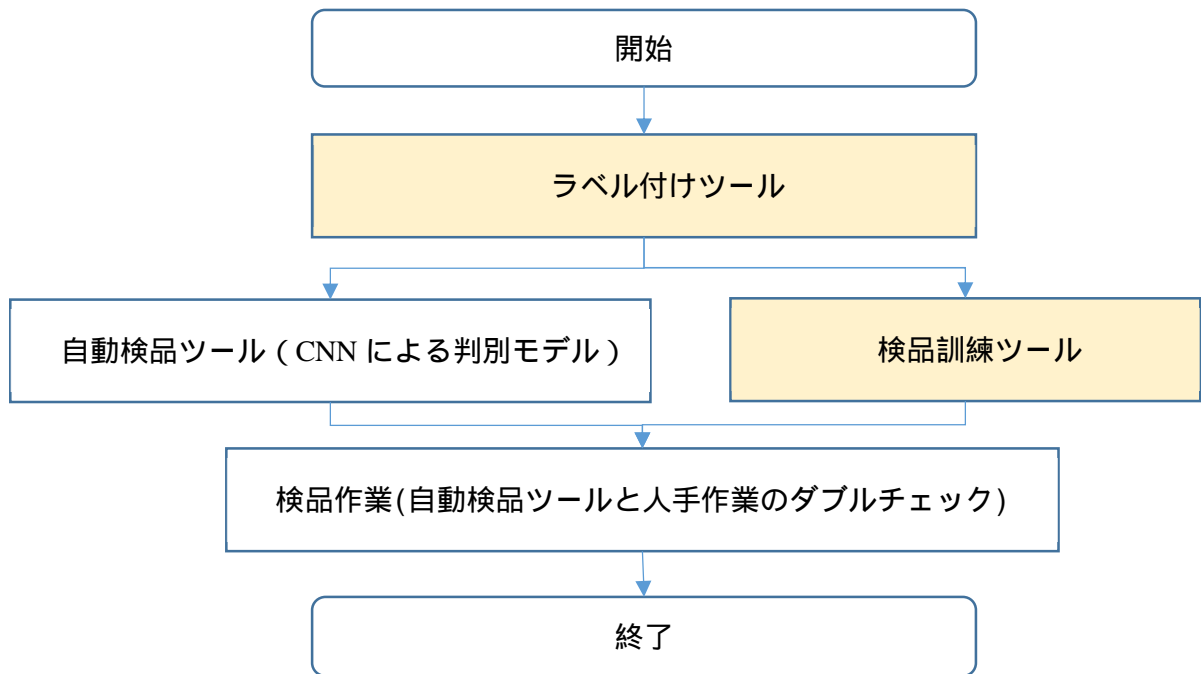
3. 研究の方法

本研究は当初、検品支援ツールにラベル付けモードと訓練モードの2つの機能を盛り込む予定であったが、利用対象者や運用タイミングが異なるため、試行錯誤の末に独立した2つのツールとして(1)ラベル付けツール(2)検品訓練ツールを開発した。また当初の予定通り自動検品機械に導入する(3)自動判別ツールの開発も行った。その結果以下の方法で研究を進めた。

- (1) 検品訓練ツールの作成と検証実験。検品訓練ツールはこれまでの研究でも作成していたが、その結果を元に改良を行いその都度20名程度の被験者による検証実験を行った。最終的に完成した検品訓練ツールでは、検品訓練者が対象製品のどこを見て良品/不良品の判断をするかの記録を取りその傾向を測った。また、熟練作業者によって判断が異なるサンプルに対しては判断基準を比較して全員合意のもと良品/不良品のラベルを決定できるようにした。
- (2) 機械学習を用いた自動判別ツールの作成と検証実験。本研究では自動判別ツールの精度向上のため畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を用いて判別モデルを構築する。使用データとして検品訓練ツールで得られたデータの反映した。また機械学習の活性化関数、最適化関数、バッチサイズを変更して組合わせた数値実験のみならず、サンプル画像にカーネルフィルタやバイラテラルフィルタを用いて画像処理を施し、実験結果を比較することによって最も適した判別モデル構成を決定した。
- (3) ラベル付けツールの作成と検証実験。当初、研究の最初に作成予定であったラベル付けツールの作成を最終段階で行った。熟練作業者による判断の違いをラベル付けツールに記録して、それぞれの判断基準を比較し共通認識を構築することによって熟練者の判断平準化を支援する。

4. 研究成果

完成したシステムの概要図を以下に示す.



検品対象製品に対し, 1 のラベル付けツールで良品 / 不良品の判断基準を設定する. 具体的にはいくつかのサンプル画像を登録してそれぞれの判定結果とその根拠を記録する. 記録作業は複数の熟練オペレータが行い, 判断結果が異なる場合もそれぞれの根拠を記録して比較し最終判断はラベリングツールを利用する全ての熟練作業者の承認を得たうえで実施する. これによって熟練作業者の判断基準が平準化され, また良品 / 不良品の根拠も明確になった. ラベル付ツールで設定したサンプル画像のデータは 2 の検品訓練ツールと 3 の自動判別ツールに用いられる. 訓練ツールでは作業者ごとの判断の傾向と, サンプル毎の傾向を解析し, 判断にばらつきのあるサンプルに対しては再度ラベル付けの検討を行い, 自動判別ツールの学習データに追加してモデルの再構築を行う.

研究成果は国際学会 1 回と国内学会 1 回で報告出来た. また, 研究期間は過ぎたが 2024 年の 9 月に最終的な研究成果を国際会議で報告し, 論文投稿する予定である.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Shingo Kubota, Masatsuki Sugitani, Riku Akaishi, Harumi Haraguchi
2. 発表標題 Improvement of inspection training tools and validation of the accuracy of machine learning discriminant models using the results
3. 学会等名 The IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 赤石陸, 原口春海
2. 発表標題 画像処理を用いた検品支援ツールの精度改善に関する研究
3. 学会等名 日本機械学会生産システム部門研究発表講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Harumi Haraguchi and Takumi Miyamoto
2. 発表標題 Study on developing a comprehensive inspection system that parallel improves the accuracy of manual and automatic inspections
3. 学会等名 APMS 2024 CONFERENCE (国際学会)
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

harulabo
<https://harulabo.cis.ibaraki.ac.jp/>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------